

Tratamiento a cortes de perforación contaminados con diesel utilizando un producto natural

Treatment to polluted courts of perforation with diesel using a natural product



<http://opn.to/a/hPhYO>

Roberto Romero Silva ^{1*}, Daylen Salazar Alemán ¹, Francisca González Hernández ¹, Carlos C. Cañete Pérez ¹, Yamila Navarro Sosa ¹, Lester Rivas Trasancos ¹, Yuletsis Díaz Rodríguez ¹, Zuleika Marquetti Ramos ¹

RESUMEN: Las operaciones de perforación en la industria petrolera generan residuos que se asocian principalmente con el material excavado, recortes y/o ripios del pozo. Los recortes de rocas transportados por el fluido de perforación a lo largo de un pozo, son impregnados con el tipo de lodo utilizado, ya sea base agua o aceite. En ambos casos se generan cortes contaminados con hidrocarburos, que deberán ser manejados y dispuestos adecuadamente. En nuestro país no existe una tecnología que minimice el impacto negativo que proporciona la creciente acumulación de residuos de lodos base aceite. Una alternativa eficiente y de bajo costo para restablecer la calidad ambiental en el recurso suelo, es la biorremediación. Se evaluó a escala de banco un proceso de biorremediación a cortes de perforación contaminados con lodo base combustible diésel, mediante la incorporación de un producto mejorador consistente en acondicionadores orgánicos, desechos de otras aplicaciones industriales y con presencia de biota degradadora de hidrocarburos; realizándose el tratamiento estadístico mediante un diseño factorial 3^k con dos variables de respuestas. Se corrobora que todos los hidrocarburos de diferente composición pueden ser biodegradados, teniendo en cuenta la disminución de los niveles de concentración de los Hidrocarburos Totales (HCT) y las Grasas y Aceites (G y A). El empleo del producto mejorador de suelos contaminados con hidrocarburos, permitió alcanzar mejores porcentajes de remoción del proceso, obteniéndose tasas promedios de 53 % y 46% para las G y A e HCT respectivamente.

Palabras clave: biorremediación, aceite, diésel, cortes de perforación.

ABSTRACT: Drilling operations in the oil industry generate waste that is associated mainly with excavated material, cuttings and well gravel. The rock cuttings transported by the drilling fluid along the well are impregnated with the type of mud used, be it water or oil base. In both cases, cuts contaminated with hydrocarbons are generated, which must be handled and disposed properly. In our country, there is no technology that minimizes the negative impact of the growing accumulation of oil-based sludge. An efficient and low-cost alternative to restore environmental quality in the soil resource is bioremediation. A bioremediation process for drilling cuts contaminated with diesel fuel base sludge was evaluated through the incorporation of an improvement product consisting of organic conditioners, waste from other industrial applications and presence of hydrocarbon degrading biota; The statistical treatment was carried out using a 3k factorial design with two response variables. It is corroborated that all hydrocarbons of different composition can be biodegraded, taking into account the reduction of the concentration levels of Total Hydrocarbons (HCT) and grease and Oils (G and A). The use of the soil improver product contaminated with hydrocarbons, allowed to reach better percentage of removal of the process, obtaining average rates of 53% and 46% for G and A and HCT respectively.

Keywords: Bioremediation, oil, diesel, drilling cuts.

Recibido: 04/04/2018

Aprobado en su forma original: 22/04/2019

¹Centro de Investigación del Petróleo, Churruca 481 e/ Washington y Vía Blanca, Cerro, La Habana 12000, Cuba.

*Autor para correspondencia: Roberto Romero Silva. E-mail: robertors@ceinpet.cupet.cu

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de perforación en la industria petrolera generan residuos que se asocian principalmente con el material excavado, recortes y/o ripios del pozo.

Cuando se utilizan fluidos de perforación a base de aceites, los recortes de rocas transportados por el fluido de perforación a lo largo del pozo son impregnados con el residual del tipo de aceite utilizado. Lo mismo ocurre cuando se perfora con lodo a base de agua, los recortes de lutitas y areniscas ricas en contenido de petróleo se transportan a la superficie del pozo. En ambos casos se generan ripios contaminados con hidrocarburos, los cuales deberán ser manejados y dispuestos, sin que estos provoquen un impacto adverso a los ecosistemas asociados.

Los hidrocarburos son uno de los grupos de sustancias potencialmente contaminantes más importantes, por su abundancia, por su distribución espacial en entornos urbanos y por su persistencia en distintos sectores ambientales (Vinas, 2005). Se considera que son los compuestos dominantes del crudo (petróleo) representando entre el 50 y el 98% en peso del contenido total. Estos son mezclas complejas de diferentes moléculas, y pueden agruparse en 4 clases: saturados, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos asfáltenos y resinas, en donde cada uno difiere significativamente respecto a su susceptibilidad frente a posibles procesos de biodegradación (Ramírez et al., 2014).

Una alternativa costo/eficiente para restablecer la calidad del ambiente en el recurso suelo es la biorremediación (Agudelo, 2010). El éxito de ésta tecnología depende de la existencia, en el lugar contaminado, de microorganismos con la capacidad metabólica apropiada para transformar los compuestos xenobioticos, en compuestos que puedan ser reincorporados a los ciclos biogeoquímicos (Mena, 2015). Por ésta razón, es indispensable realizar la caracterización microbiológica del contaminante y/o sitio del derrame (Hernández et al., 2006); ésta debe constar de 2 estudios: la cuantificación de los microorganismos presentes, la cual incluye las pruebas de biofactibilidad; y los estudios de biodegradabilidad en laboratorio; en su conjunto

ésta información es indispensable para predecir el tiempo que tomara la biodegradación en campo (Nápoles et al., 2015).

La tasa de degradación microbiana de hidrocarburos en suelos ésta condicionada por parámetros fisicoquímicos como: presencia de nutrientes (Nitrógeno, Fosforo), contenido de oxígeno (O₂, presión parcial (Pv) de gases, temperatura (T), pH, contenido de sales, tamaño (Diámetro) y distribución de partículas (Tamices), capacidad reguladora del suelo y por la solubilidad (K_{sp} y %8), concentración, cantidad y biodisponibilidad de los contaminantes (Mena, 2015).

El objetivo de esta investigación consiste en aplicar a escala de banco un proceso de biorremediación, a cortes de perforación con contaminantes de lodo base combustible diésel. Para este propósito se evalúa la efectividad de la técnica de landfarming y el método de bioestimulación, mediante la incorporación de un producto mejorador a base de acondicionadores orgánicos, nutrientes y desechos que aportan microbiota degradadora de hidrocarburos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó a escala de banco un proceso de biorremediación por la técnica de landfarming y el método de bioestimulación, a cortes de perforación con contaminantes lodo base combustible diésel, mediante dos ensayos experimentales en composteros:

Experimento 1:

1. Proceso de biorremediación a cortes de perforación contaminados con un Tamaño de Partícula Menor (TPMr), (3 réplicas).
2. Proceso de biorremediación a cortes de perforación contaminados con un Tamaño de Partícula Menor + producto) (TPMr-T), (3 réplicas).

Experimento 2:

1. Proceso de biorremediación a cortes de Perforación contaminados con un Tamaño de Partícula Mayor (TPMYr), (3 réplicas).
2. Proceso de biorremediación a cortes de Perforación contaminados con un Tamaño de Partícula Mayor + producto (TPMYr-T), (3 réplicas).

Para ambos experimentos se estableció una base de cálculo de 5 Kg para una relación 2:1 (3322 g de suelo limpio: 1668 g de cortes de perforación contaminados).

Se empleó un producto mejorador de suelos contaminados con hidrocarburos que contiene, bagazo natural (residuo de la actividad agrícola azucarera) - paja de arroz (residuo de la cosecha arrocería) lodo residual seco (de plantas de tratamiento de residuales domésticos), fertilizantes químicos (Urea), (Romero et al., 2016), [figura 1](#).

Se realizó un seguimiento físico - químico y microbiológico que incluyó: la realización de los ensayos de Grasas y Aceites (G y A), Hidrocarburos totales (HCT), pH (T °C), Conductividad Eléctrica en el extracto de saturación, Conteo de Microorganismos Totales (MOT), Conteo de Microorganismos Degradadores de Hidrocarburos (MDH), determinación de Nitrógeno Total (N_T) y Fósforo Total (P_T). Los análisis reflejados se realizaron a tiempo 0, 30, 60 y 90 días de proceso. Las muestras fueron tomadas mediante el muestreo tipo estrella recomendado por el especialista japonés Dr. Itaru [Okuda, \(2002\)](#), homogenizadas y secadas, de las cuales se tomó una muestra representativa para ser analizada.

Los ensayos de G y A e HCT se ejecutaron según metodologías establecidas internacionalmente ([APHA, 2005](#)). Los análisis microbiológicos, según la [ISO 8199:2005](#); [ISO](#)

[7954:2002](#); MBH Medium (Modified Bushnell and Hass Salt solution). ([Wyndham et al., 1981](#); [Bergey's, 1994](#)).

En el estudio del contenido de N_T y P_T se empleó el método [FIRI/T 137](#). En la determinación del pH y la conductividad eléctrica, se emplearon métodos estándares establecidos en la [NC 32: 2009](#).

Se calcularon las tasas de biodegradación según la siguiente expresión:

$$TB = \frac{CI - CF}{CI} * 100 \quad (1)$$

Donde:

TB - tasa de biodegradación (%)

CI - Concentración Inicial de G y A y HCT (mg/kg).

CF - Concentración Final de G y A y HCT (mg/kg).

Se evaluó estadísticamente el proceso ejecutado, que parte de un diseño factorial multinivel: Número de factores experimentales: 3; Número de respuestas: 2. Para esto se utilizó el programa [Design Expert versión 6.0.1 de Stat - Ease Corporation \(2000\)](#). Los factores de diseño seleccionados se describen en la [tabla 1](#). Las variables de respuestas son la G y A (mg/Kg) e HCT (mg/Kg). Se realizó la prueba de múltiples rango por el método LSD Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las [figuras 2, 3, 4 y 5](#) se exponen las curvas de comportamiento de los procesos degradativos



Figura 1. Producto mejorador conformado y almacenado

Tabla 1. Factores de Diseño

Factores	Bajo	Alto	Niveles	Unidades
Tamaño de partícula	-1.0 TPMr	1.0 TPMYr	2	-
Producto	-1 ausencia	1.0 presencia	2	-
Tiempo	0.0	90.0	4	días

ocurridos para las G y A y los HCT de ambos experimentos ejecutados.

En la [figura 2](#), se muestran los resultados del experimento 1, donde se aprecia que existió una degradación de las G y A desde los primeros 30 días de proceso, siendo superior a los 90 días de experimentación para el corte de TPMr-T, según la disminución de los niveles de concentración obtenidos y en comparación con el corte de TPMr.

En la [figura 3](#), correspondiente al mismo experimento 1, se aprecia que existió una degradación de los HCT durante el proceso ejecutado, siendo superior a los 90 días de experimentación para el corte de TPMr-T, cuando los niveles de concentración obtenidos son inferiores en comparación con los obtenidos para el corte de TPMr.

Los resultados del experimento 2 que nos muestra la [figura 4](#), nos indica que existió una degradación similar de las G y A en 30 días de proceso en comparación con el experimento 1. Estos niveles de concentración de G y A fueron inferiores a los 60 y 90 días de proceso para el

tratamiento con producto. Sin embargo, no se aprecia haya existido degradación de este parámetro para este último intervalo de tiempo del proceso acometido; existiendo variabilidad de los resultados, que solo podrían ser reflejos de la heterogeneidad en la toma de las muestras analizadas y/o incremento de la materia orgánica presente.

En la [figura 5](#) (experimento 2) no se aprecia una correlación uniforme de los niveles de concentración de HCT cuantificados desde el inicio del proceso. A pesar de esto, se constata que existió una degradación superior de los HCT a 90 días de proceso, siendo inferiores los niveles de concentración obtenidos con el tratamiento con producto.

En la [figura 6](#) se muestran las tasas de biodegradación promedio calculadas a tiempo 0 y 90 días del proceso.

En la anterior figura se aprecia, que los porcentajes de remoción más altos se corresponden con ambos tamaños de partículas con presencia de producto. Estas son mayores para los cortes con un TPMr-T en comparación

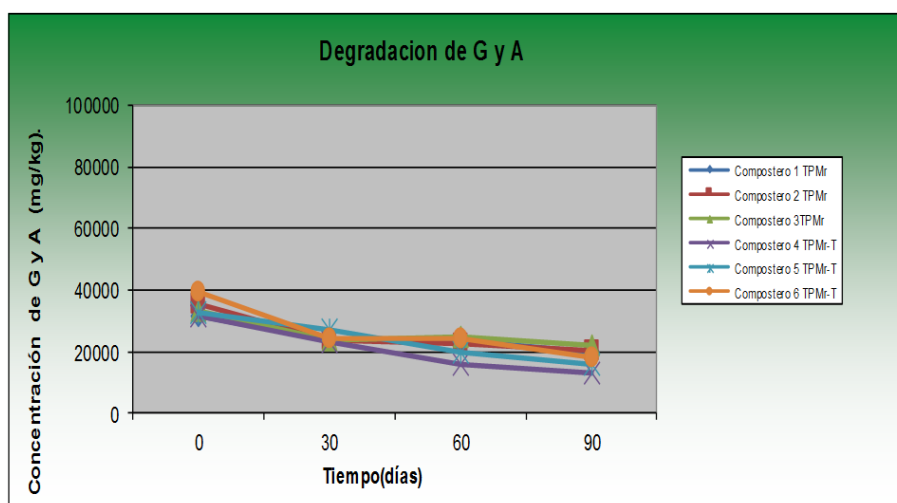


Figura 2. Experimento 1 (TPMr- TPMr-T)

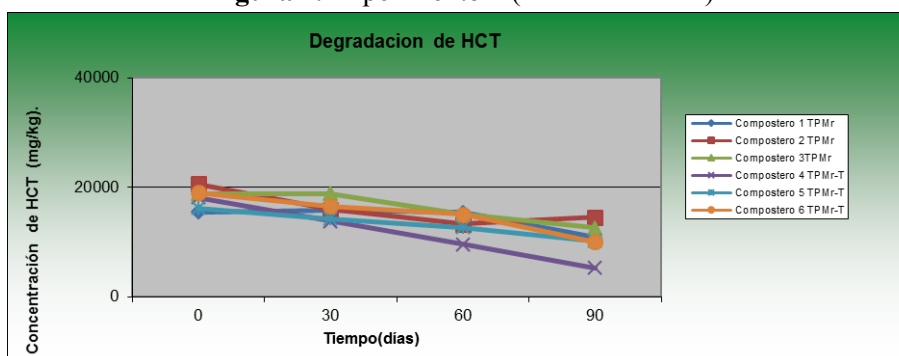


Figura 3. Experimento 1 (TPMr- TPMr-T)

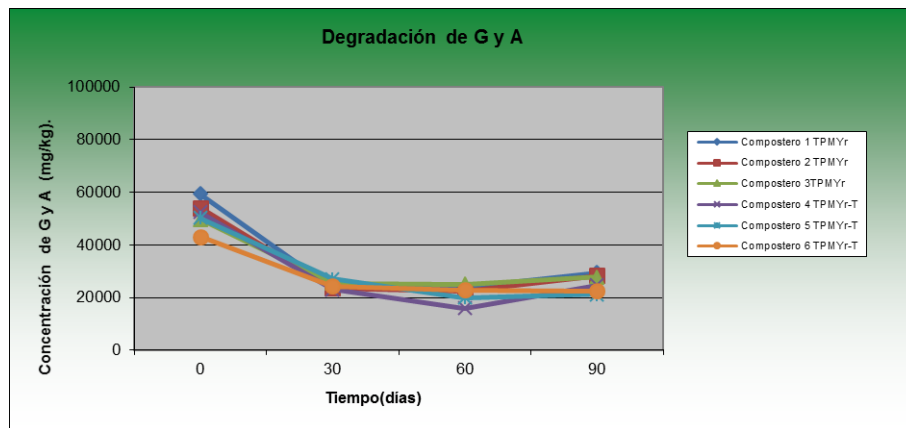


Figura 4. Experimento 2 (TPMYr - TPMYr-T)

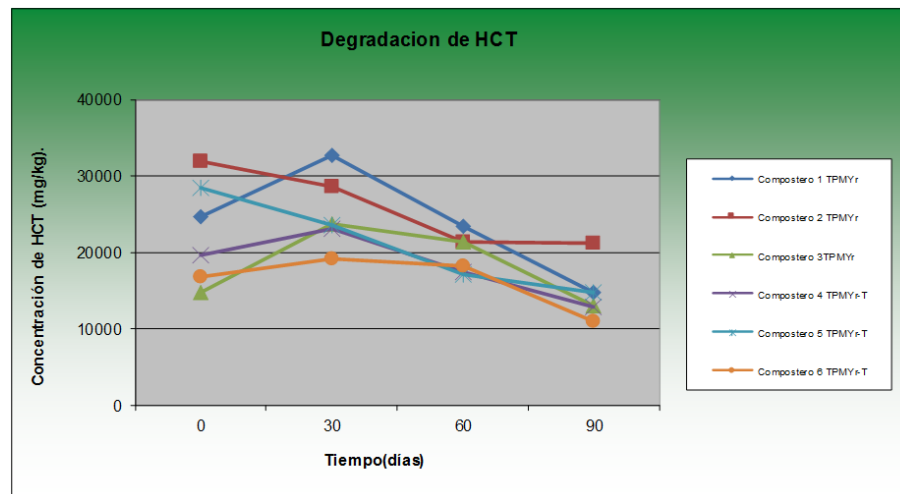


Figura 5. Experimento 2. (TPMYr - TPMYr-T)

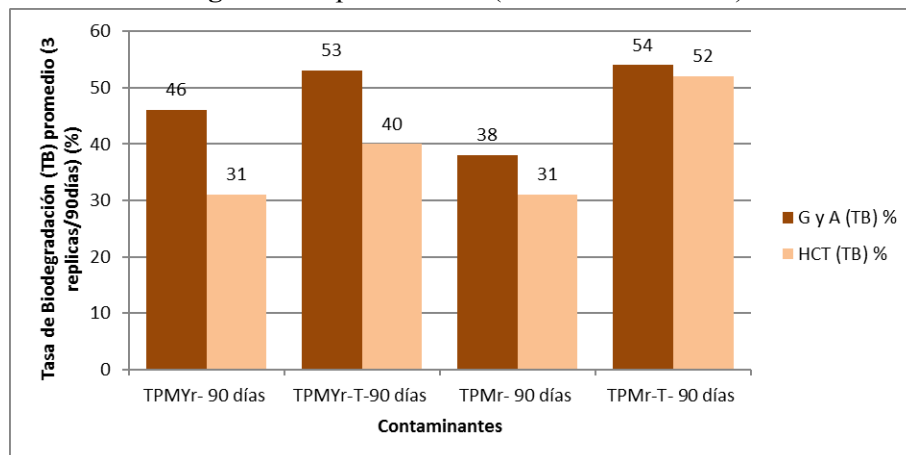


Figura 6. Tasas de Biodegradación promedios

con el TPMYr -T. Sin embargo los cortes con un TPMr son inferiores a las alcanzadas para los cortes con un TPMYr.

En las [tablas 2](#) y [3](#) se muestra el comportamiento microbiológico durante los 0-30 días y 60-90 días de los experimentos con presencia de producto. Además se reportan las cuantificaciones realizada de las fuentes de Nitrógeno y Fósforos totales presentes.

En general, las concentraciones obtenidas de los conteos de MOT y MDH, demuestran la activa biota existente en el proceso de biorremediación aplicado, siendo muy superior a lo recomendado según la literatura referenciada. Se corrobora el aporte que brinda en este sentido el producto mejorador, el cual aporta fuentes de nitrógeno y fósforo que estimulan los microorganismos presentes, que a su vez

Tabla 2. Seguimiento microbiológico a tiempo 0 y 30 días. Contenidos de N_T y P_T

Compostero, Muestra Tiempo	MOT UFC/g	MDH UFC/g	N_T %	P_T µg/g
Compostero 1 TPMYr-T t = 0 días	8.0×10^7	2.2×10^6	5.92	1.752
Compostero 2 TPMYr-T t = 0 días	5.5×10^7	2.4×10^6	7.56	1.804
Compostero 3 TPMYr-T t = 0 días	3.0×10^8	2.9×10^6	7.19	1.337
Compostero 1 TPMr-T t = 0 días	2.8×10^8	2.0×10^6	6.01	1.741
Compostero 2 TPMr-T t = 0 días	8.5×10^7	3.1×10^6	5.74	1.195
Compostero 3 TPMr-T t = 0 días	6.0×10^8	6.0×10^5	7.65	1.905
Compostero 1 TPMYr-T t = 30 días	8.0×10^{10}	1.8×10^7	11.572	0.0984
Compostero 2 TPMYr-T t = 30 días	2.0×10^{11}	1.3×10^7	16.767	0.2070
Compostero 3 TPMYr-T t = 30 días	1.9×10^{11}	2.2×10^8	7.107	0.0971
Compostero 1 TPMr-T t = 30 días	4.0×10^{10}	2.3×10^8	9.659	0.1058
Compostero 2 TPMr-T t = 30 días	4.5×10^{10}	1.1×10^5	13.942	0.1306
Compostero 3 TPMr-T t = 30 días	2.5×10^{10}	3.7×10^8	3.736	0.1112
Ercoli, 2001	10^5 - 10^6	10^3 - 10^4	-	-

UFC/g: Unidades formadoras de colonias / gramos de suelo

Tabla 3. Seguimiento microbiológico a tiempo 60 y 90 días. Contenidos de N_T y P_T

Compostero, Muestra Tiempo	MOT UFC/g	MDH UFC/g	N_T %	P_T µg/g
Compostero 1 TPMYr-T t = 60 días	3.5×10^8	4.0×10^6	8.748	0.158
Compostero 2 TPMYr-T t = 60 días	8.5×10^8	4.0×10^7	6.652	0.091
Compostero 3 TPMYr-T t = 60 días	5.5×10^8	3.0×10^6	6.378	0.089
Compostero 1 TPMr-T t = 60 días	2.0×10^{10}	3.5×10^7	8.292	0.153
Compostero 2 TPMr-T t = 60 días	6.0×10^9	1.3×10^6	6.014	0.193
Compostero 3 TPMr-T t = 60 días	4.0×10^{10}	1.0×10^8	3.098	0.188
Compostero 1 TPMYr-T t = 90 días	3.5×10^8	1.0×10^7	9.38	0.073
Compostero 2 TPMYr-T t = 90 días	4.0×10^8	2.5×10^6	11.02	0.106
Compostero 3 TPMYr-T t = 90 días	5.0×10^8	1.5×10^6	6.46	0.089
Compostero 1 TPMr-T t = 90 días	1.5×10^9	4.0×10^7	7.92	0.098
Compostero 2 TPMr-T t = 90 días	4.5×10^9	2.5×10^6	7.47	0.093
Compostero 3 TPMr-T t = 90 días	4.5×10^9	1.5×10^7	5.64	0.086
Ercoli, 2001	10^5 - 10^6	10^3 - 10^4	-	-

encuentran en esta composta las condiciones necesarias para su reproducción.

Los resultados del análisis realizado a cada representación gráfica mostrada, corroboran la utilidad de la aplicación del producto en el proceso de biorremediación ejecutado. Su incorporación proporciona la energía necesaria, que garantiza las fuentes de nitrógeno y fósforos, que facilitan a la biota presente en el proceso, la estimulación necesaria para acometer la degradación del contaminante. Sin embargo aún es insuficiente la degradación acontecida para la contaminación evaluada, al no alcanzarse los valores estipulados por la normativa ([NC](#)

[819:2017](#)), que plantea la necesidad de disminuir la contaminación hasta los 10000 mg/kg ó 1%.

A continuación se expresan los resultados del análisis estadístico realizado. La siguiente [figura](#) muestra los efectos asociados y sus interacciones para las G y A e HCT.

Este diagrama nos indica que existe un efecto marcado del tiempo para el proceso ejecutado, así como por el tamaño de partícula evaluada, ambos considerados positivos.

En el caso de las G y A, el tiempo tiene un efecto e interacción asociado al producto y a la combinación de éste con el tamaño de partícula. Así como también muestra igual comportamiento con la combinación del tamaño de partícula con

el producto. No existe interacción de la combinación del producto con el tiempo, siendo este un efecto negativo. Esto último podría suponer que a 90 días de proceso podría ser necesaria una nueva incorporación de producto al proceso en aras de lograr que continúen las degradaciones acontecidas para este parámetro.

En el caso de los HCT, el tiempo tiene un efecto asociado al producto, siendo el mismo positivo, pero a su vez tiene un efecto e interacción negativo con la combinación de éste, con el tamaño de partícula y el producto. Además existe efecto e interacción negativa para la

combinación del producto con el tamaño de partícula. También se aprecia este último comportamiento de la combinación del tamaño de partícula con el producto. Estos resultados podrían suponer que la adición del producto ha sido una condición del proceso adecuada. Lo que no podría decirse que las cantidades del mismo han sido suficientes y que con solo éste podría lograrse la degradación de los HCT atendiendo a su tamaño de partícula y tiempo de 90 días transcurrido.

Como se observa en el diagrama de las medias obtenidas (figura 8), existen diferencias

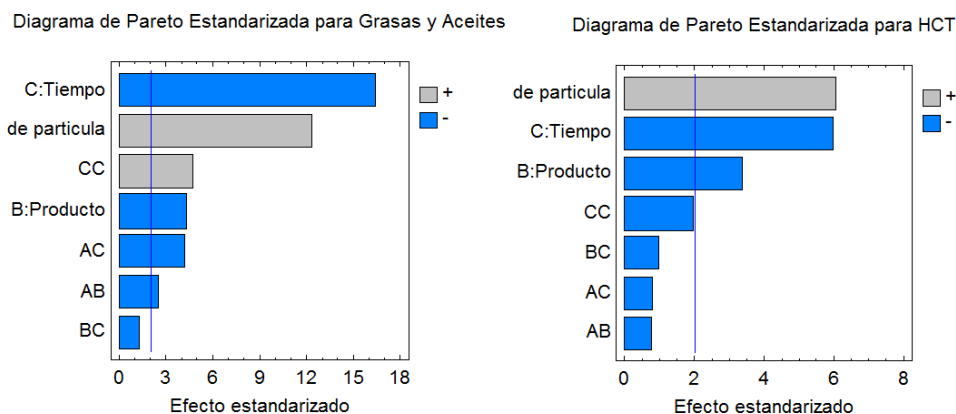


Figura 7. Efectos e interacciones para las grasas y aceites e HCT

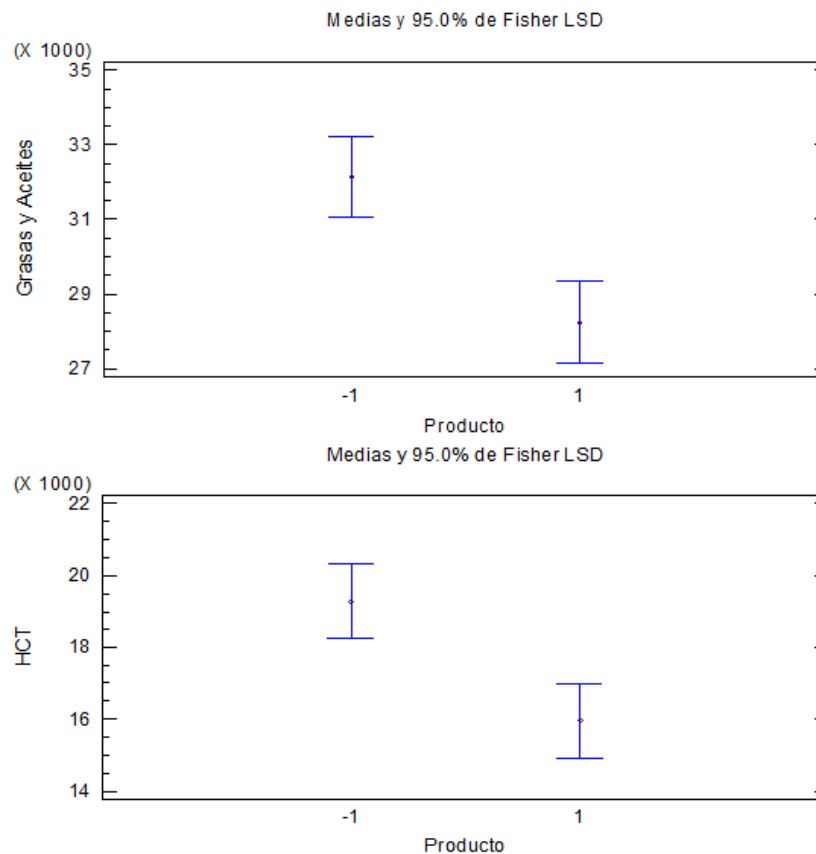


Figura 8. Diagrama de medias (95 % de confianza)

significativas de los parámetros G y A e HCT para una ausencia o presencia del producto, a partir de la disminución acontecida de las medias obtenidas en los casos de estar presente el producto ([tabla 1](#)).

CONCLUSIONES

1. El proceso de biorremediación evaluado ratifica que todos los hidrocarburos de diferente composición pueden ser biodegradados, teniendo en cuenta la disminución de los niveles de concentración de las G y A y los HCT, parámetros estos indicadores de la contaminación.
2. El empleo del producto permitió alcanzar mejores porcentajes de remoción del proceso, obteniéndose tasas promedios de 53 % y 46% para las G y A e HCT de ambos cortes evaluados, respectivamente. Existió una biodegradación superior para el corte contaminado con tamaño de partícula menor con presencia de producto.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, E. 2010. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- APHA-AWWA-WEF. 2005. Standard Methods for the examination of water and waste water. 20th ed, 2005.
- Appl. Environ. 1981. MBH Medium (Modified Bushnell and Hass solution).
- Atlas, R. 1981. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons, an environmental perspective. Microbial. Rev. 45, pp. 180-209.
- Bergey's. 1994. Manual of Determination Bacteriology. Nith Edition.
- Design Expert versión 6.0.1 de Stat - Ease Corporation 2000.
- Ercoli, E. 2001. Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de HC en suelos. Univ. Nac. de Cuyo, Argentina.
- FIRI/T137 MFS-Methods Water Pollution. Determinación de Nitrógeno y Fósforos Totales.
- Hernández, A.; Gutierrez, M. C.; Rubifios, J.; Alvarado, J. 2006. Caracterización del suelo y plantas de un sitio contaminado con hidrocarburos. TERRA Latinoamericana, Vol. 24, No 4, octubre diciembre, pp.
- ISO 7954. 1987. Con medio Agar Extracto de Malta con Cloruro de Sodio al 5 %, utilizando la técnica de esparcimiento en placa.
- ISO 8199. 2005. Con medio Agar Triptona Soya, utilizando la técnica de siembra de esparcimiento en placa.
- Mena González, Yaniel. 2015. Evaluación de la biorremediación para el manejo de residuos sólidos petrolizados de la empresa de perforación y extracción de petróleo Majagua. Tesis de maestría, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría," Facultad de ingeniería química.
- Nápoles, J., Rodríguez, S., Santiago, L., & Ábalos, A. Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos. Tecnología Química, 2015.
- NC 32. Calidad de Suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto. Cuba, 2009.
- NC: 819/2017. Norma Cubana. Manejo de Fondaje de Tanques de Almacenamiento de Petróleos y sus Derivados (onshore), La Habana, Cuba.
- Okuda, I. 2002. Comunicación Personal, La Habana.
- Ramírez, O. 2014. Manejo, clasificación y disposición de residuos peligrosos (cortes de perforación base aceite) en plataformas petroleras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vinas, M. 2005. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)